



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

VALIDAÇÃO DO PRODUTO DE ÁREA QUEIMADA MENSAL 1KM (MODIS)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/INPE/CNPq)

Beatriz Nunes Garcia (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail:

Dr. Alberto W. Setzer (INPE, Orientador)
E-mail: alberto.setzer@cptec.inpe.br

Prof^a. Dr^a. Renata Libonati (IGEO/UFRJ, Orientadora)
E-mail: renata.libonati@igeo.ufrj.br

COLABORADORES

Julia Abrantes Rodrigues (IGEO/UFRJ)

Julho de 2017



SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Resumo do plano inicial de trabalho	1
1.2 Resumo das atividades desenvolvidas	1
1.3 Objetivos	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
3.1 Dados de Área Queimada de Baixa Resolução	4
3.2 Dados de Validação.....	5
3.3 Metodologia da Tabela de Contingência	5
3.4 Área de Estudo	8
4. RESULTADOS	10
5. CONCLUSÕES.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17



RESUMO

A validação em sensoriamento remoto determina de forma quantitativa a habilidade de um produto obtido a partir do espaço em descrever um dado parâmetro geofísico medido por meios independentes. A importância em validar produtos de satélites se deve aos seguintes fatores: 1) informações quantitativas sobre a qualidade do produto são fundamentais para diferentes usuários; 2) informações resultantes do próprio processo de validação ajudam a melhorar a geração dos produtos e 3) utilização crescente de produtos de satélite como suporte para a detecção de eventuais mudanças climáticas. Usualmente a validação se baseia em medidas realizadas *in situ* obtidas durante campanhas de campo e consideradas como verdades. Entretanto, a validação de estimativas de área queimada por meio da comparação direta com medidas em campo apresenta dificuldades relacionadas não só com a larga extensão e localização remota da maioria das ocorrências, mas também devido à rápida alteração do sinal radiométrico da cicatriz de queimada. Neste sentido, torna-se necessário que informações *in situ* acerca das áreas queimadas sejam obtidas simultaneamente, ou no máximo após alguns dias/semanas da ocorrência do fogo, em locais de livre acesso. Informações com estas características podem ser coletadas através de sobrevoos sobre o local, o que nem sempre está disponível devido ao alto custo envolvido. Na ausência de dados *in situ*, uma forma possível de solucionar o problema consiste na comparação visual e estatística com informações de satélites de alta resolução espacial, que permitem observar a superfície terrestre com o detalhamento adequado. No presente projeto, será realizada a validação de sete versões do produto de área queimada desenvolvido no INPE (AQM, LIBONATI et al., 2015) utilizando-se cicatrizes de áreas queimadas derivadas de dados de satélite com média resolução espacial (LANDSAT TM). Além disso, também será realizada a comparação das áreas queimadas com aquelas obtidas por um produto oficial de área queimada da NASA, nomeadamente o MCD64A1 (GIGLIO et al., 2006). As medidas de acurácia demonstraram que a versão 6 do AQM, apresentou os menores erros de comissão (12,27; 23,52 e 25,8 para os anos de 2010, 2014 e 2015) em relação às demais versões.



LISTAS DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Contingência.....	6
Tabela 2 – Tabela de Contingência para queimadas.	6
Figura 2. Validação entre AQM e Landsat.....	8
Figura 3. Área de estudo: localização, uso e cobertura do solo e UC que a compõe.	9
Figura 4. Cenas do Landsat validadas na área de estudo.....	9
Figura 5. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 219/071.	10
Figura 6. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 220/063.	11
Figura 7. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 220/075.	11
Figura 8. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 221/067.	12
Figura 9. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 222/072.	12
Figura 10. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 223/069.	13
Figura 11. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 224/073.	13
Figura 12. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 228/070.	14
Figura 13. Erros de omissão (OE) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre os OE de 6 e 5.1 (painel a direita).....	14
Figura 14. Erros de comissão (CE) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre os CE de 6 e 5.1 (painel a direita).....	15
Figura 15. Viés (bias) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre o bias de 6 e 5.1 (painel a direita).	15
Figura 16. Threat score (TS) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre o TS de 6 e 5.1 (painel a direita).	15



1. INTRODUÇÃO

1.1 Resumo do plano inicial de trabalho

A validação em sensoriamento remoto determina de forma quantitativa a habilidade de um produto obtido a partir do espaço em descrever um dado parâmetro geofísico medido por meios independentes. A importância em validar produtos de satélites se deve aos seguintes fatores: 1) informações quantitativas sobre a qualidade do produto são fundamentais para diferentes usuários; 2) informações resultantes do próprio processo de validação ajudam a melhorar a geração dos produtos e 3) utilização crescente de produtos de satélite como suporte para a detecção de eventuais mudanças climáticas.

Usualmente a validação se baseia em medidas realizadas *in situ* obtidas durante campanhas de campo e consideradas como verdades. Entretanto, a validação de estimativas de área queimada por meio da comparação direta com medidas em campo apresenta dificuldades relacionadas não só com a larga extensão e localização remota da maioria das ocorrências, mas também devido à rápida alteração do sinal radiométrico da cicatriz de queimada. Ademais, muitas ocorrências de queimadas localizam-se em propriedades privadas, o que dificulta a sua validação *in situ*.

Neste sentido, torna-se necessário que informações *in situ* acerca da extensão e localização das áreas queimadas sejam obtidas simultaneamente, ou no máximo após alguns dias/semanas depois da ocorrência do fogo, em locais de livre acesso. Informações com estas características podem ser coletadas através de sobrevoos sobre o local com equipamento adequado (e.g. aparelhos de Global Positioning System (GPS) e câmeras fotográficas), o que nem sempre está disponível devido ao alto custo envolvido. Na ausência de dados *in situ*, uma forma possível de solucionar o problema consiste na comparação visual e estatística com informações de satélites de alta resolução espacial, que permitem observar a superfície terrestre com o detalhamento adequado. Outro método de validação comumente utilizado para validar a localização e extensão aproximada da área queimada consiste na comparação com os focos de queimada obtidos por satélites.

1.2 Resumo das atividades desenvolvidas

- i. Aquisição dos dados de área queimada mensais de baixa resolução do sensor MODIS (500m), do produtos MCD64, para o período de 2005 até 2015;
- ii. Aquisição dos dados de área queimada mensais, AQM, geradas pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas do INPE com o sensor MODIS (1km), para o período de 2005 até 2015;



- iii. Aplicação de um mosaico nos dados da NASA, redimensionamento para 1 km e reprojeção (coordenadas geográficas), utilizando-se a ferramenta Modis Reprojection Tool (MRT);
- iv. Geração de informação de referência (cicatrices de queima com média resolução) para validação dos produtos de baixa resolução;
- v. Aquisição das imagens no banco de imagens Landsat-OLI ortorretificadas da USGS/NASA, com até 10% de cobertura de nuvens;
- vi. Agrupamento de bandas espectrais de cada cena;
- vii. Definição de parâmetros para segmentação;
- viii. Validação dos resultados por meio de comparações com focos de calor e interpretações visuais;
- ix. Análise e definição dos períodos de comparação, levando em consideração as datas disponíveis de cicatrizes de média resolução.

1.3 Objetivos

No presente projeto, o processo de validação do produto de área queimada desenvolvido no INPE (AQM, LIBONATI et al., 2015) será conduzido utilizando-se cicatrizes de áreas queimadas derivadas de dados de média resolução (LANDSAT TM). Além disso, também será realizada a comparação das áreas queimadas com aquelas obtidas pelo produto oficial de área queimada da NASA, nomeadamente o MCD64A1 (GIGLIO et al., 2006).



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A queima da biomassa, tanto através de queimadas agrícolas, como de incêndios florestais, é um importante fator no equilíbrio ambiental global, afetando a cobertura vegetal, moldando sua composição e iniciando os ciclos de vegetação, e a emissão de gases do efeito estufa, principalmente, o carbono (Chuvieco, 2008; Roy, 2003). Globalmente, a queima da biomassa modifica quimicamente a atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa. Regionalmente e localmente, ela provoca a alteração e/ou destruição da fauna e flora, modificando os ecossistemas da região. No Brasil, a conversão da vegetação natural em pastagens e agricultura usando práticas de fogo é a principal fonte de gases do efeito estufa, segundo o Ministério Para Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

Uma das questões mais importantes que afetam o controle dos incêndios florestais é a falta de mapeamento sistemático de áreas queimadas. Neste contexto, o sensoriamento remoto tornou-se uma importante ferramenta no mapeamento de áreas queimadas, pois ele fornece informações necessárias para entender e analisar a distribuição, tanto espacial, quanto temporal, da queima de biomassa, através de informações mais objetivas sobre a ocorrência e fatores causadores de incêndios e propagação do fogo (Torrallbo e Benito, 2012; Chuvieco, 2008).

Mapeamento das áreas queimadas em escala global via imagens de satélite é baseado, principalmente, em dados de baixa resolução espacial, tais como dos sensores Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) e Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Esses dados não possuem, entretanto, um detalhamento espacial suficiente. O uso de sensores de média/alta resolução tem sido, portanto, geralmente indicado para estudos em escala local, mas, nos últimos anos, também tem sido utilizado em estudos globais, tanto por causa dos requisitos mais rigorosos, quanto pela crescente disponibilidade de tais imagens, especialmente após a disponibilidade pública das imagens Landsat (Bastarrika et al., 2011). Os satélites ainda operantes da série Landsat têm sido amplamente utilizados para o mapeamento de áreas queimadas, principalmente em estudos locais e regionais (Chuvieco et al., 2002; Hudak e Brockett, 2004; Smith et al., 2007).



3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados de Área Queimada de Baixa Resolução

O produto nacional de área queimada do INPE, o AQM, e o produto oficial global da NASA, o MCD64A1, são obtidos a partir de imagens do sensor MODIS 1km e MODIS 500m, respectivamente, para o ano de 2015. Estas informações são mensais e os pixels queimados são identificados. Tais dados do INPE foram disponibilizados pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas; os da NASA foram baixados gratuitamente em formato HDF através da Universidade de Maryland: <ftp://fuoco.geog.umd.edu/db/MCD64A1/> e pela página EarthData da NASA.

Os arquivos da NASA possuem o seguinte formato de nomenclatura:

- Nome do produto oficial de queimada;
- ano referente à queimada e o dia inicial (segundo o calendário Juliano) do mês em que ela ocorreu;
- *Tile* (quadrado) a que pertence a queimada de acordo com a Figura 1.

Exemplo: O produto MCD64A1.A2005213.h13v10 contém o mapa de área queimada em agosto de 2005 no *tile* h13v10, localizado próximo da área de estudo, no nordeste do Brasil central.

Os *tiles* de interesse são os que pertencem à América do Sul, sendo h10 ao h14 e v7 ao v14.

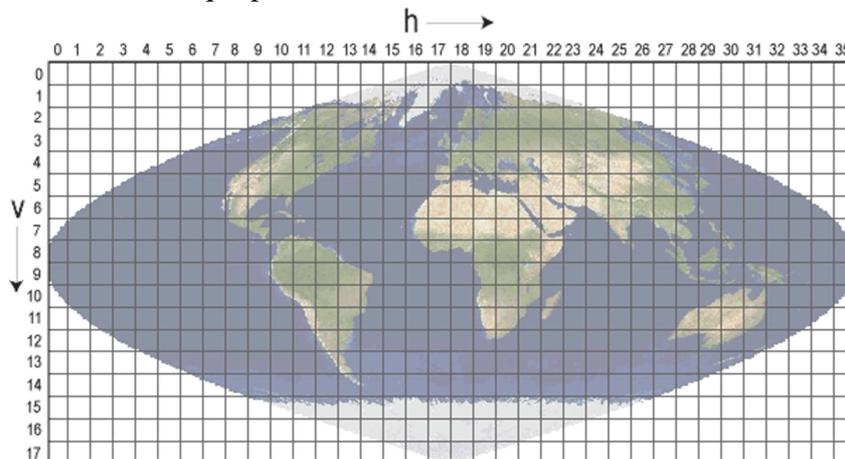


Figura 1 MODIS tiles – Grade de produtos de área queimada
Fonte: https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html

Para o ano de 2015, foi gerado um mosaico com os *tiles* de interesse. Foi utilizada a ferramenta *MODIS Reprojection Tool – MRT (LP DAAC)*, a qual nos permite escolher a informação que desejamos carregar no pixel queimado.



3.2 Dados de Validação

Dados de referência (cicatrices de área queimada) de média resolução espacial (Landsat 30m) são gerados pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas do INPE.

- i. **Comparação quantitativa com LANDSAT:** utilizando-se dados de referência: cicatrizes de áreas queimadas derivadas de dados de média resolução (LANDSAT TM) e tabela de contingência, seguindo protocolo internacional (descrito em Libonati et al., 2015)
- ii. **Intercomparação quantitativa com produto MCD64:** realizou-se a comparação das áreas queimadas geradas pelo AQM MODIS 1KM com aquelas obtidas por um produto oficial de área queimada da NASA, nomeadamente o MCD64A1. A validação foi conduzida através da análise estatística padrão (conforme item i. acima).
- iii. **Comparação visual com LANDSAT:** utilizando-se dados de referência: cicatrizes de áreas queimadas derivadas de dados de média resolução (LANDSAT TM)
- iv. **Comparação quantitativa do total queimado:** utilizando-se dados de referência: cicatrizes de áreas queimadas derivadas de dados de média resolução (LANDSAT TM) e dados MCD64.
- v. **Comparação visual com focos de calor:** utilizando-se dados de focos de calor derivados do banco de dados do INPE.

Os critérios utilizados para seleção das datas Landsat para validação foram:

- A diferença temporal de 16 dias entre imagens consecutivas, em razão desta ser a mínima possível para as imagens LS para evitar a atenuação do sinal espectral;
- Meses de junho a outubro, pois registraram os menores volumes de precipitação;
- Cenas com cobertura de nuvens igual ou inferior a 10% para evitar o mascaramento das cicatrizes;
- Análise espacial da concentração de nuvens em imagens pré e pós, onde havia cicatrizes, para evitar erros de omissão e comissão;
- Cicatrizes com área igual ou superior a 25 ha.

3.3 Metodologia da Tabela de Contingência

A tabela de contingência é uma tabela em formato de matriz que demonstra a distribuição de frequência das variáveis e fornece uma imagem básica da interrelação entre elas. Na meteorologia, ela é usada para verificar a relação de acertos e erros entre dados observados e previstos (Tabela 1), e é a partir da qual que se derivam os cálculos como dos erros de omissão e comissão, viés e acerto global.



Tabela 1 - Tabela de Contingência.

		Observações		
		SIM	NÃO	Subtotal
Previsões	SIM	A	B	A+B
	NÃO	C	D	C+D
	Subtotal	A+C	B+D	A+B+C+D

Para queimadas, indica a confiabilidade dos produtos de queimada de baixa resolução (previsto) com o produto de referência de média resolução (observado). A tabela é um caso binário, onde só há dois tipos de evento: sim ou não, queimou e não queimou e é dada como a tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Tabela de Contingência para queimadas.

		Observações		
		SIM	NÃO	Subtotal
Previsões	SIM	Acerto	Falso Alarme ou Comissão	Previsões SIM
	NÃO	Omissão	Acerto Não Queimada	Previsões NÃO
	Subtotal	Observações SIM	Observações NÃO	Total

Através dos resultados apresentados na tabela, diversas medidas de acurácia podem ser calculadas. As principais delas utilizadas na literatura para validar a área queimada (Boschetti et al., 2004; Chuvieco et al., 2008; Roy et al., 2009) são:

- Acerto global (AO) ou proporção de previsões corretas ('hint'):

$$OA = \frac{A + D}{A + B + C + D} \quad (1)$$

- Erro de omissão da classe queimada (OE):

$$OE = \frac{C}{A + C} \quad (2)$$

- Erro de comissão da classe queimada (CE):

$$CE = \frac{B}{A + B} \quad (3)$$



- Viés (bias):

$$BIAS = \frac{A + B}{A + C} \quad (4)$$

- Índice crítico de sucesso ou “Threat Score” (TS):

$$TS = \frac{A}{A + B + C} \quad (5)$$

A teoria descrita acima, entretanto, não leva em consideração a diferença de resolução existente entre o sensor utilizado para a classificação e o sensor utilizado para gerar os dados de referência, podendo acarretar tanto em erros de omissão quanto de comissão, dependendo da classe a qual o determinado pixel do sensor de baixa resolução será classificado, pois a tabela de contingência tradicional (Tabela 1) dá pesos iguais a cada pixel, independentemente da proporção de cada classe presente no mesmo.

Desta forma, as medidas de acurácia descritas acima (Equações 1 a 3) foram calculadas de acordo com os estudos de técnicas fuzzy desenvolvidos por Binaghi et al. (1999). Neste caso, a concordância-discordância entre os dados de referência (alta resolução) e os dados classificados (baixa resolução) é calculada considerando a proporção de área queimada/não queimada dos dados de referência que se encontra em cada pixel dos dados classificados. Sendo assim, se um pixel é classificado como queimado e de acordo com os dados de referência possui 60% de sua área como queimada, então este pixel terá uma proporção de 0.6 como acerto de queimada e uma proporção de 0.4 como erro de comissão. No caso tradicional, este pixel seria totalmente classificado como acerto de queimada (proporção 1), sem nenhum erro de comissão (proporção 0). Por outro lado, se um pixel é classificado como não queimado, porém possui 20% de área queimada de acordo com o dado de referência, então este pixel terá uma proporção de 0.8 de acerto de não queimada e apenas 0.2 de erro de omissão. Este tipo de abordagem permite um cálculo mais justo acerca da acurácia do classificador do que a técnica tradicional, pois leva em consideração a proporção real de área queimada dentro de um pixel de acordo com os dados de referência. A abordagem acima descrita exige que seja calculada a priori a percentagem (ou proporção) de pixels queimados dos dados de referências que se encontra

dentro de cada pixel do produto classificado (AQM). Especificamente para o caso em estudo, calculou-se a percentagem de pixels de 30 m (Landsat) queimados que se encontram dentro de cada pixel MODIS de 1 km. A ideia é apresentada na Figura 2, onde o painel da esquerda apresenta as cicatrizes de referência obtidas com Landsat (30 m) e o painel central representa as respectivas percentagens de pixels queimados em cada pixel MODIS (1 km). O painel da direita apresenta uma ampliação da figura do painel central, superposta às cicatrizes Landsat (curvas pretas). Pixels vermelhos indicam percentagens menores que 25%, pixels azuis indicam percentagens entre 25-50%, pixels verdes indicam percentagens entre 50-75% e pixels amarelos indicam percentagens entre 75-100%.

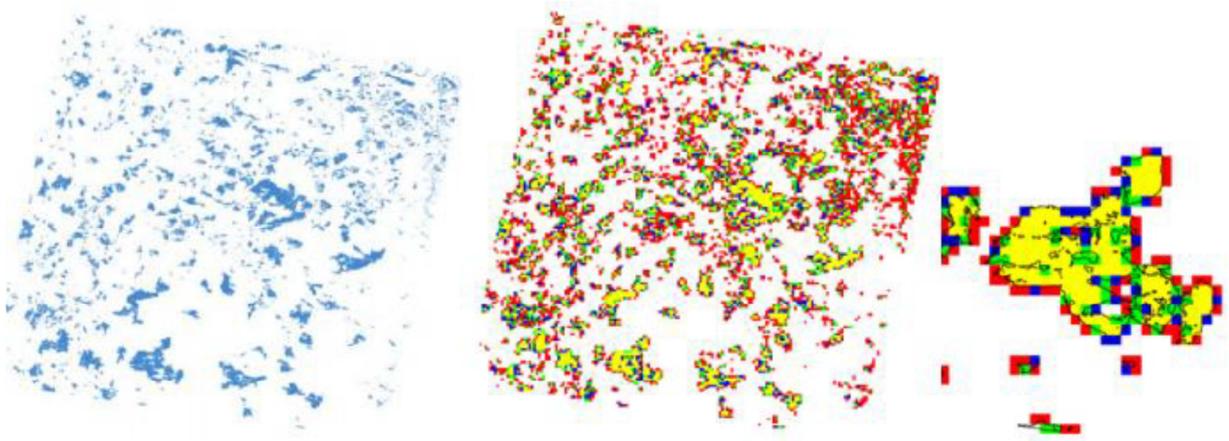


Figura 2. Validação entre AQM e Landsat.
Fonte: **Rodrigues, 2015**

3.4 Área de Estudo

A área de estudo encontra-se sobre todo o Cerrado (Figura 3).

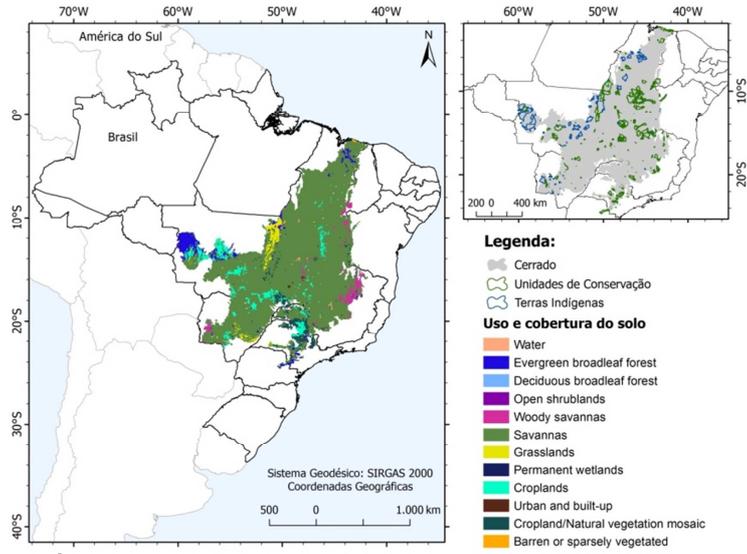


Figura 3. Área de estudo: localização, uso e cobertura do solo e UC que a compõe.

As cenas utilizadas foram 219/071, 220/063, 220/075, 221/067, 222/072, 223/069, 224/074 e 228/070 (Figura 4).

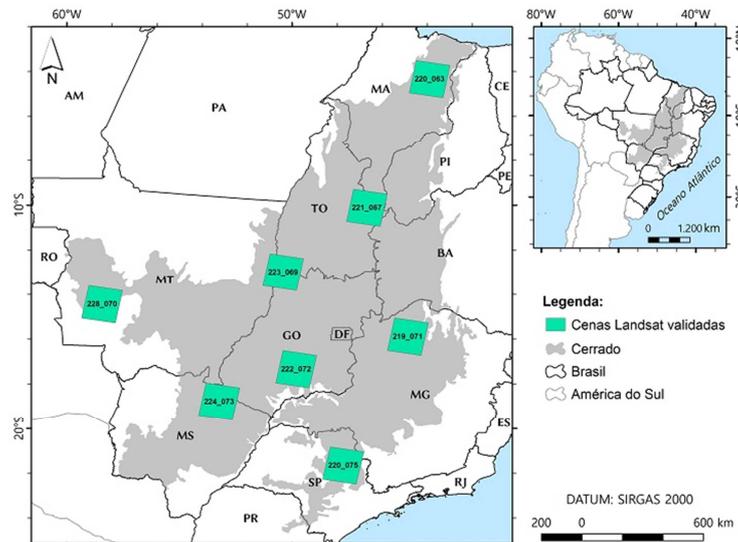


Figura 4. Cenas do Landsat validadas na área de estudo.

4. RESULTADOS

A partir do período equivalente às imagens Landsat selecionadas, foram selecionadas as queimadas do MCD64 referentes ao mesmo período (os pixels de queimada possuem datação da queima), acrescido por dois dias nas fases inicial e final devido à incerteza da data de queima.

Os resultados temáticos para cada cena/coleção demonstraram que as cenas 220/075 (Figura 7) e 224/073 (Figura 11) apresentaram maiores erros de comissão na coleção 6 quando comparados com a coleção 5.1; já os maiores erros de omissão foram observados na coleção 5.1 das cenas 221/067 (Figura 8), 223/069 (Figura 10) e 228/070 (Figura 12). As demais cenas/coleções (Figuras 5, 6 e 9) não apresentaram diferenças notáveis entre as coleções.

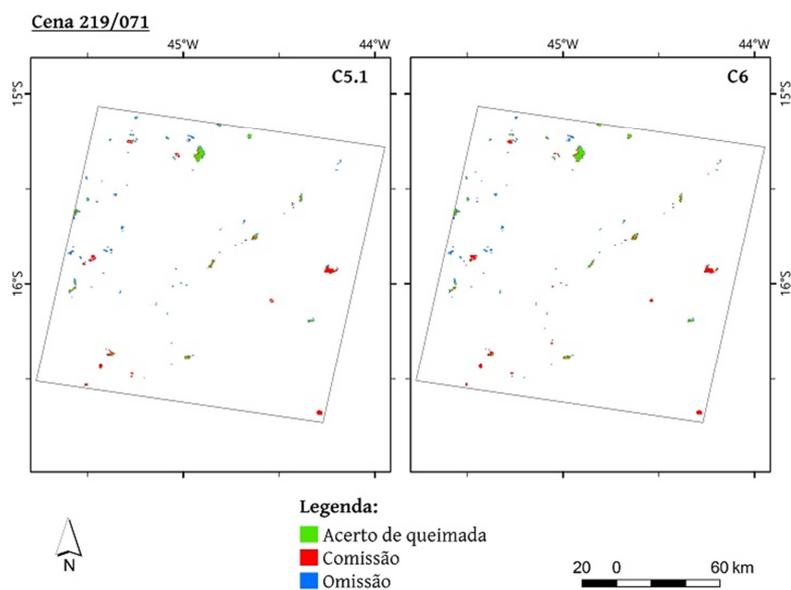


Figura 5. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 219/071.

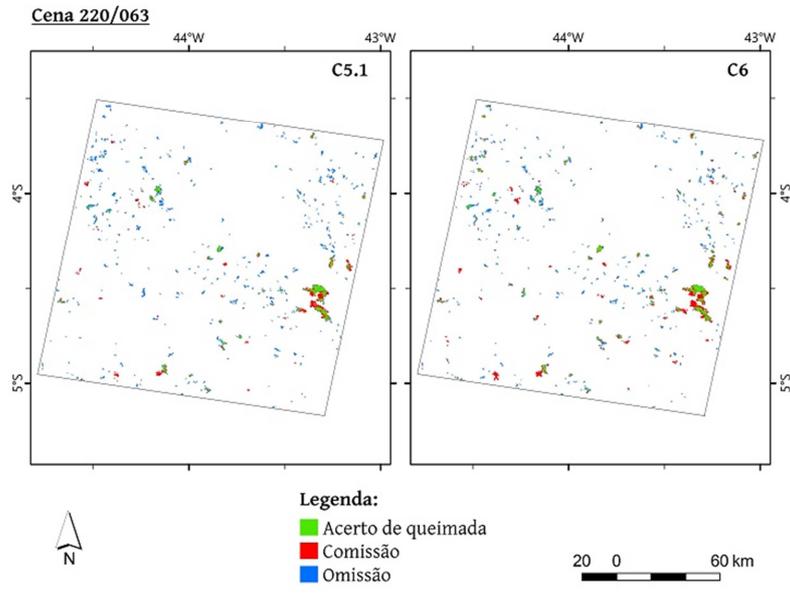


Figura 6. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 220/063.

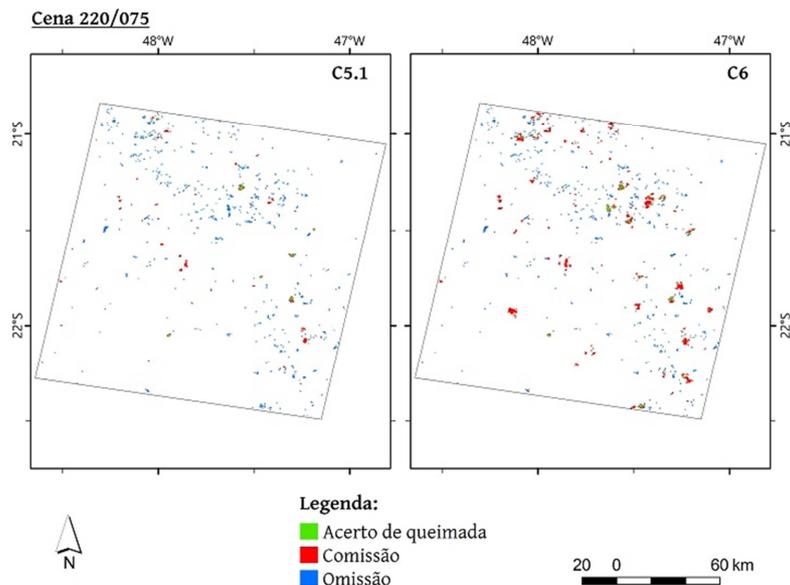


Figura 7. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 220/075.

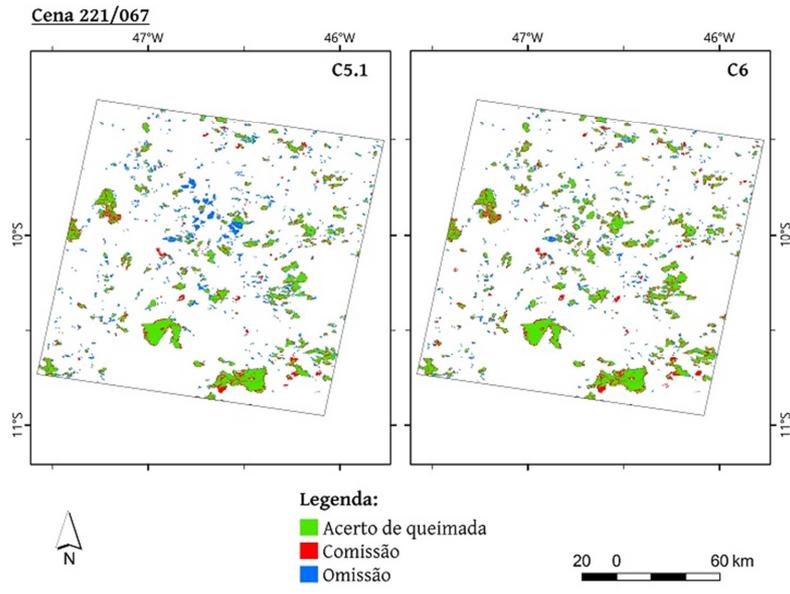


Figura 8. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 221/067.

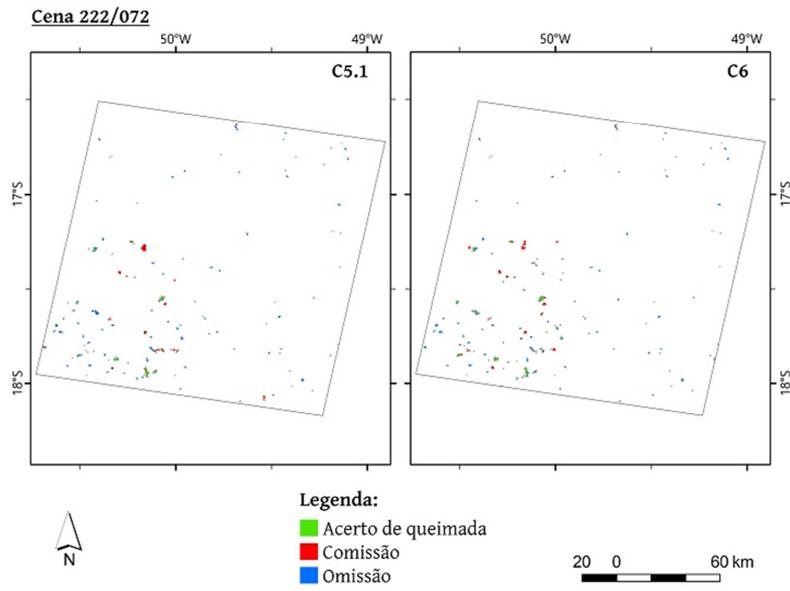


Figura 9. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 222/072.

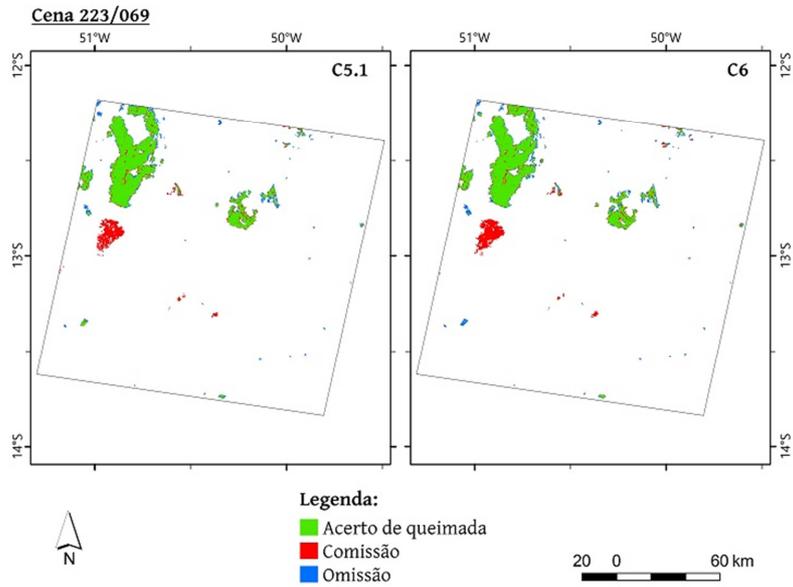


Figura 10. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 223/069.

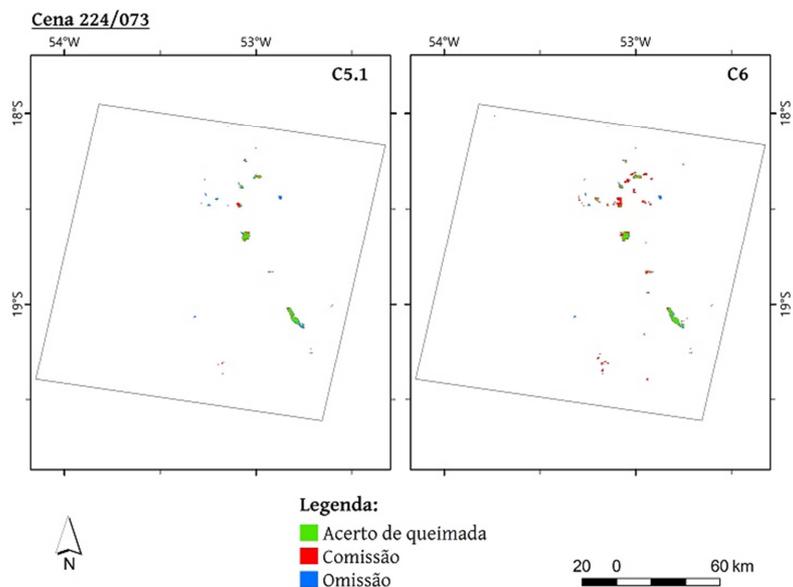


Figura 11. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 224/073.

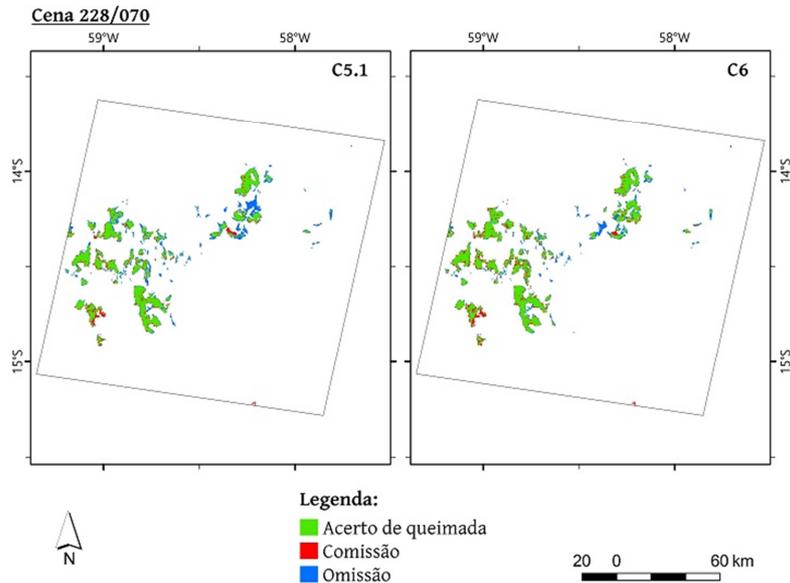


Figura 12. Comparação de acerto de queimada, erros de comissão e omissão entre as coleções 5.1 (painel da esquerda) e 6 (painel da direita) do MCD64 na cena 228/070.

A coleção 6 do MCD64 apresentou melhores erros de omissão, viés e threat score. Os erros de comissão, entretanto, foram melhores na coleção 5.1 (Figuras 13-16).

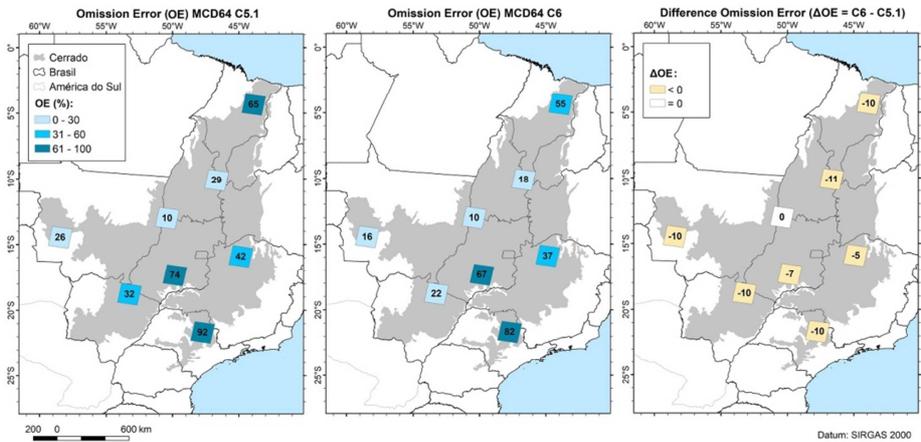


Figura 13. Erros de omissão (OE) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre os OE de 6 e 5.1 (painel a direita).

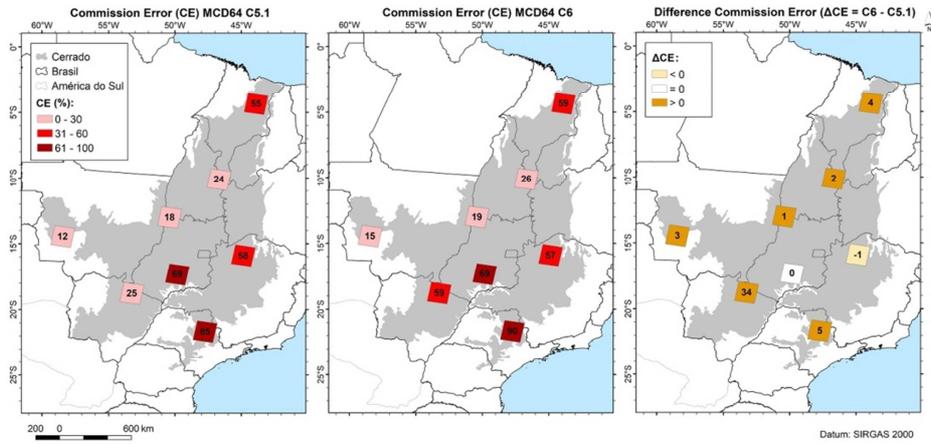


Figura 14. Erros de comissão (CE) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre os CE de 6 e 5.1 (painel a direita).

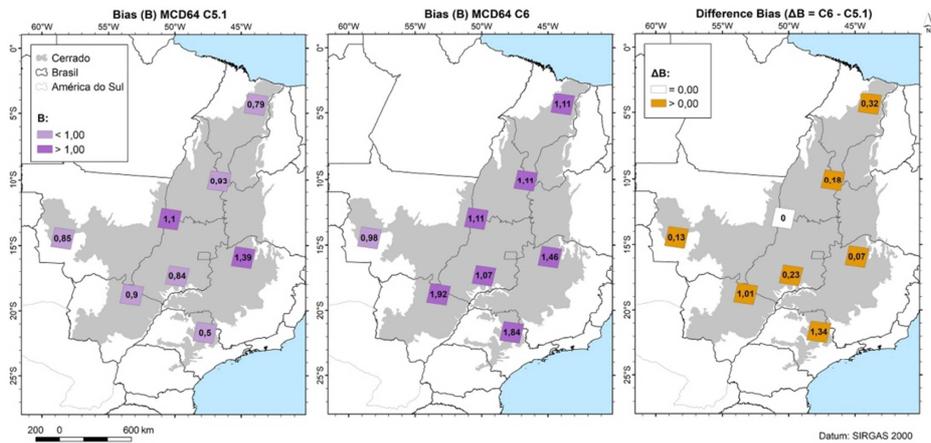


Figura 15. Viés (bias) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre o bias de 6 e 5.1 (painel a direita).

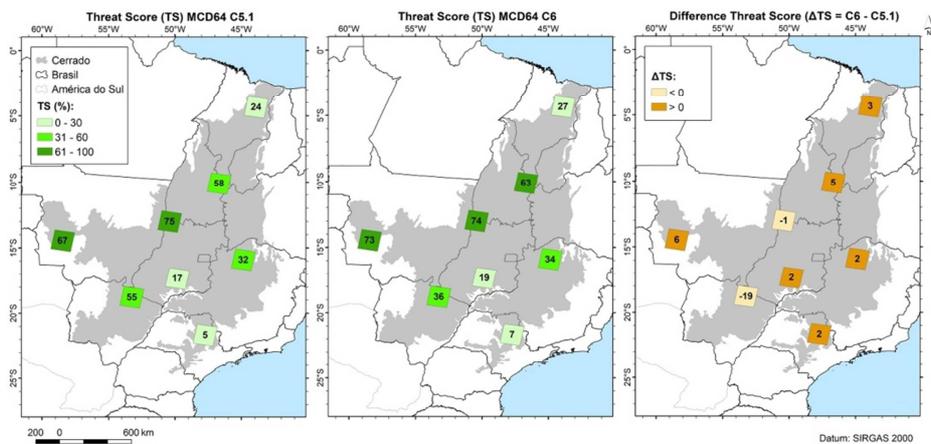


Figura 16. Threat score (TS) para as oito cenas na coleção 5.1 (painel a esquerda) e 6 (painel central) e a diferença entre o TS de 6 e 5.1 (painel a direita).



5. CONCLUSÕES

A validação dos produtos de área queimada de baixa resolução espacial, AQM e MCD64, é essencial para avaliar a precisão de ambos os algoritmos de detecções de queimadas no Cerrado. Assim, é possível avaliar o padrão espaço-temporal das áreas queimadas no bioma a partir destes produtos nos últimos 17 anos (2000-2016), ciente das incertezas atribuídas a cada um dos resultados. Os resultados demonstram que a coleção 6 do produto da NASA apresentam valores mais elevados de CE; em contrapartida, apresenta valores menores de OE, TS e bias. A coleção 5.1 apresentou $B < 1$, ela subestimou quase todas as cenas, já a coleção 6 apresentou $B > 1$ em 7 das 8 cenas, demonstrando que o evento foi previsto mais frequentemente do que ocorreu.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banco de dados de queimadas – INPE. Queimadas – Monitoramento de Focos. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.php?LANGUAGE=PT>. Acesso em: janeiro 2015.

Banco de dados de queimadas – NASA. Disponível em: <ftp://fuoco.geog.umd.edu/db/MCD64A1/>

BASTARRIKA, A.; CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P. Mapping burned areas from landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 4, p. 1003–1012, 2011.

BOSCHETTI, L.; EVA, H. D.; BRIVIO, P. A.; GRÉGOIRE, J. M. Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 21, 2004.

CHUVIECO, E. Satellite Observation of Biomass Burning Implications in Global Change Research. **Earth Observation of Global Change: The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment**. p.109–142, 2008.

CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; PALACIOS, A. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 5103–5110, 2002.

HUDAK, A. T.; BROCKETT, B. H. Mapping fire scars in a southern African savannah using landsat imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 16, p. 3231–3243, 2004.

IPCC, 2013. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

LIBONATI, R.; DACAMARA, C. C.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; MELCHIORI, A. E. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μm MODIS imagery. **Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 15782–15803, 2015.

(LP DAAC) Land Processes Distributed Active Archive Center. MODIS Reprojection Tool. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool>.

ROY, D. P.; WULDER, M. A.; LOVELAND, T. R.; et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154–172, 2014.

ROY, P. S. Forest Fire and Degradation Assessment Using Satellite Remote Sensing and Geographic Information System. **Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology**, p. 361–400, 2003.

SMITH, A. M. S.; DRAKE, N. A.; WOOSTER, M. J.; et al. Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 12, p. 2753–2775, 2007.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

TORRALBO, A.F. ; BENITO, P.M. Landsat and MODIS Images for Burned Areas Mapping in Galicia, Spain. **Master's of Science Thesis in Geoinformatics - Royal Institute of Technology (KTH)**, Stockholm, Sweden, 2012.

(USGS) United States Geological Survey. Earth Explorer. Disponível em:
<<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.